



# Л е к ц и я № 14

## Полносвязные искусственные нейронные сети

Разработал профессор П. М. Васильев  
Кафедра фармакологии и биоинформатики

Для студентов, обучающихся по направлению 06.03.01 «Биология»  
профили Биохимия, Генетика  
при изучении дисциплины «Цифровые технологии в биологии»

# П л а н л е к ц и и

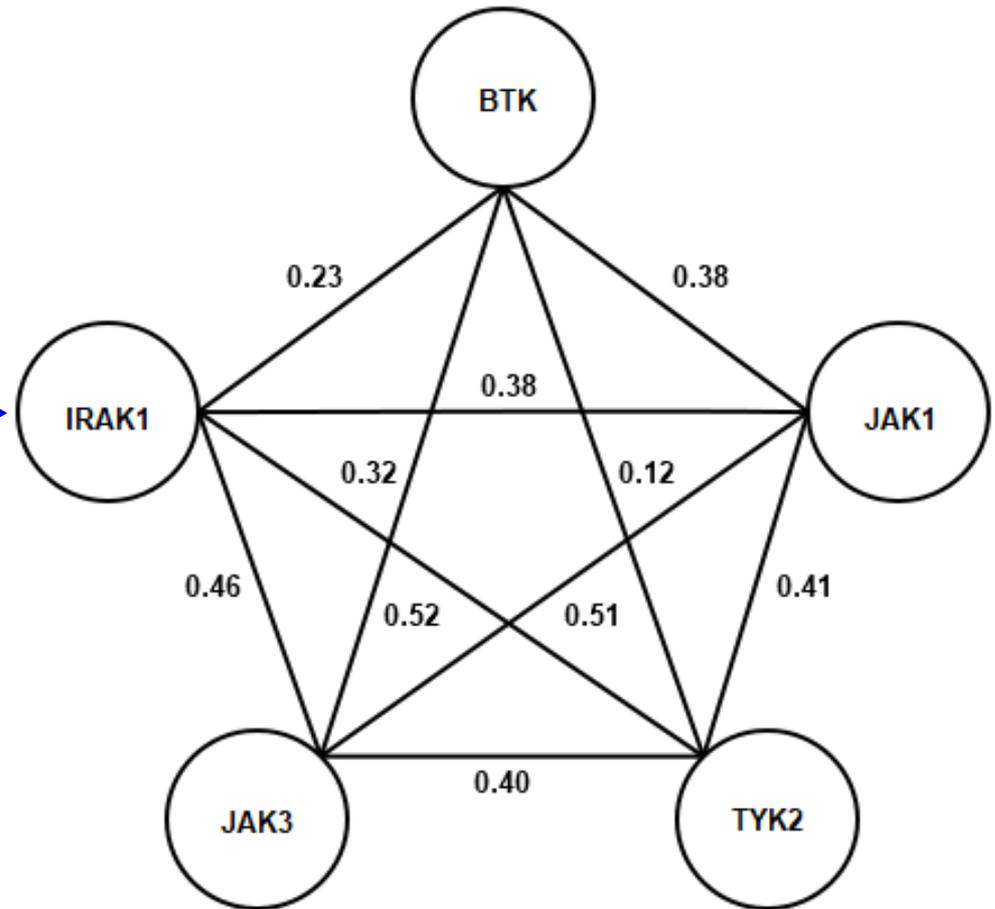
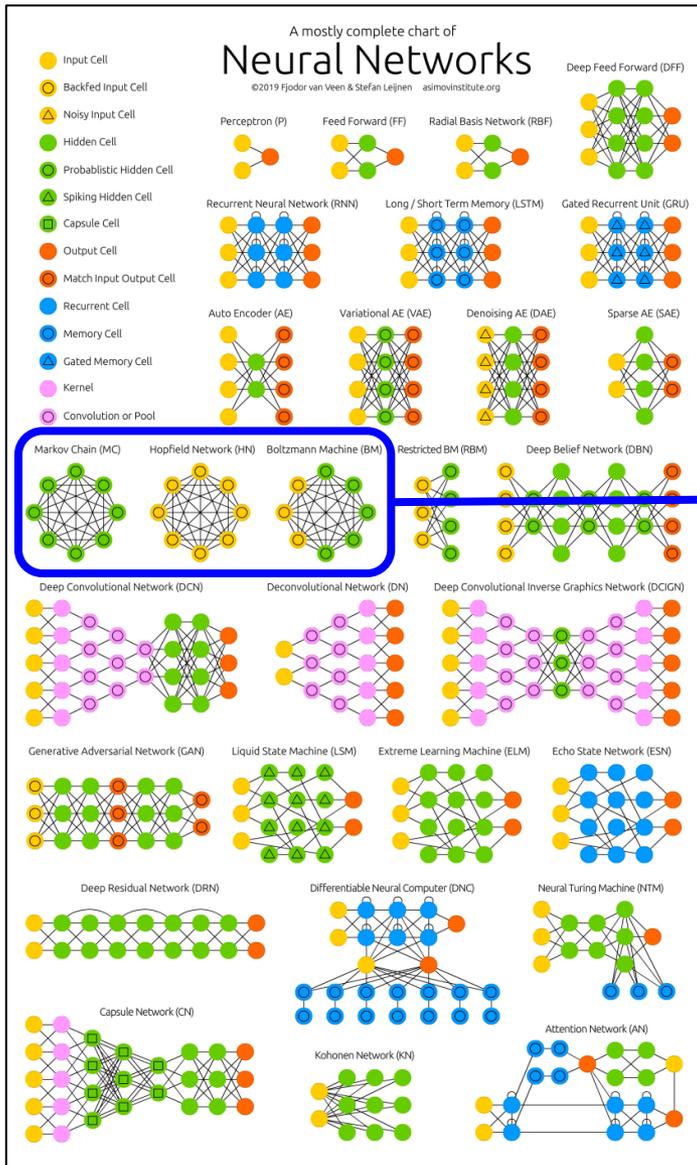
- Полносвязные нейронные сети
- Правило Хебба
- Сеть Хопфилда
- Машина Больцмана
- Цепь Маркова
- Корреляционная сеть
- Полносвязная рекуррентная сеть

# Полносвязные нейронные сети

## *Fully connected neural networks, FCNN*

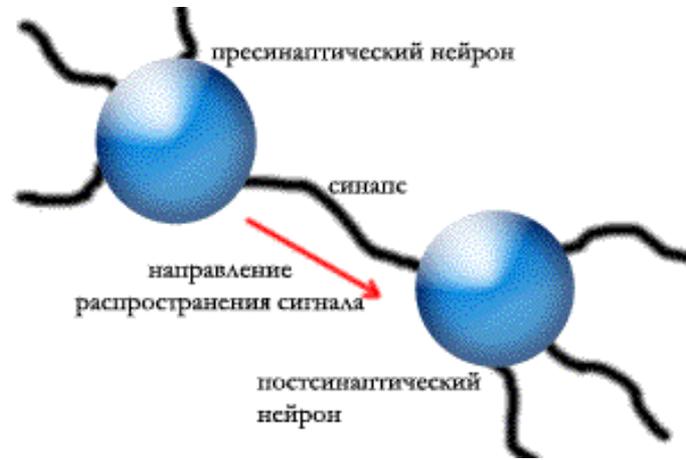
Нейронная сеть, в которой все входные сигналы подаются всем нейронам, а каждый нейрон передает свой выходной сигнал остальным нейронам, в том числе и самому себе.

# Полносвязные нейронные сети



# Правило Хебба

## Дональд Хебб, 1949



Увеличение синаптической эффективности возникает в результате постоянно повторяющейся стимуляции пресинаптической клеткой постсинаптической клетки.

Если оба нейрона активны в одно и то же время, то сила связи между ними возрастает.

Если хотя бы один нейрон не активен, то сила связи не увеличивается.

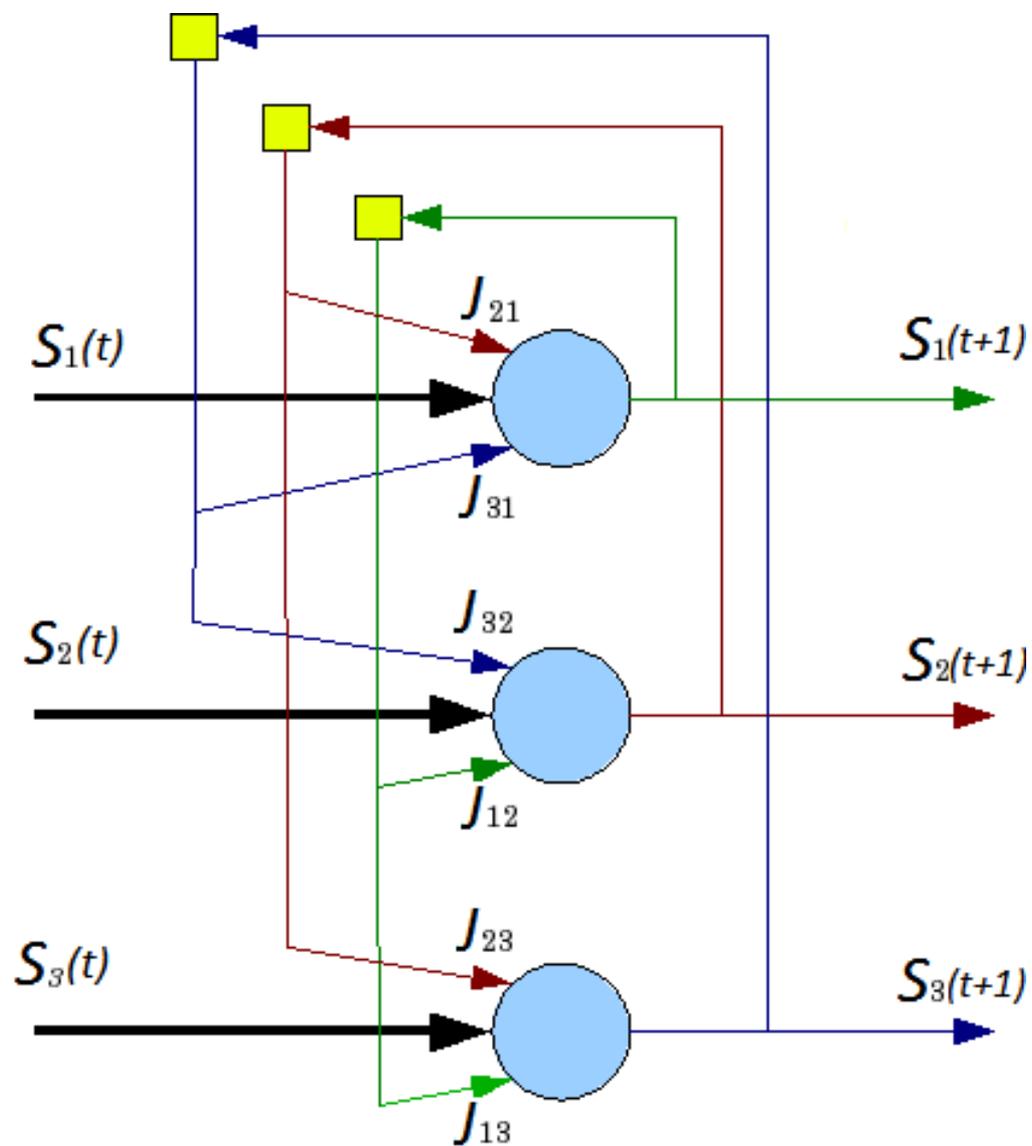
# Сеть Хопфилда

*Джон Хопфилд, 1982*

Полносвязная нейронная сеть с симметричной матрицей связей.

В процессе работы динамика такой сети сходится к положению равновесия – локальному минимуму функционала, называемого энергией сети.

# Сеть Хопфилда



# Сеть Хопфилда

## Обучение сети

Нейроны

$$x_i = \{1, -1\}$$

Энергия сети

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^M w_{ij} x_i x_j$$

$$w_{ii} = 0, \quad w_{ij} = w_{ji}$$

Веса синапсов

$$W = \frac{1}{M} \sum_i X_i^T X_i$$

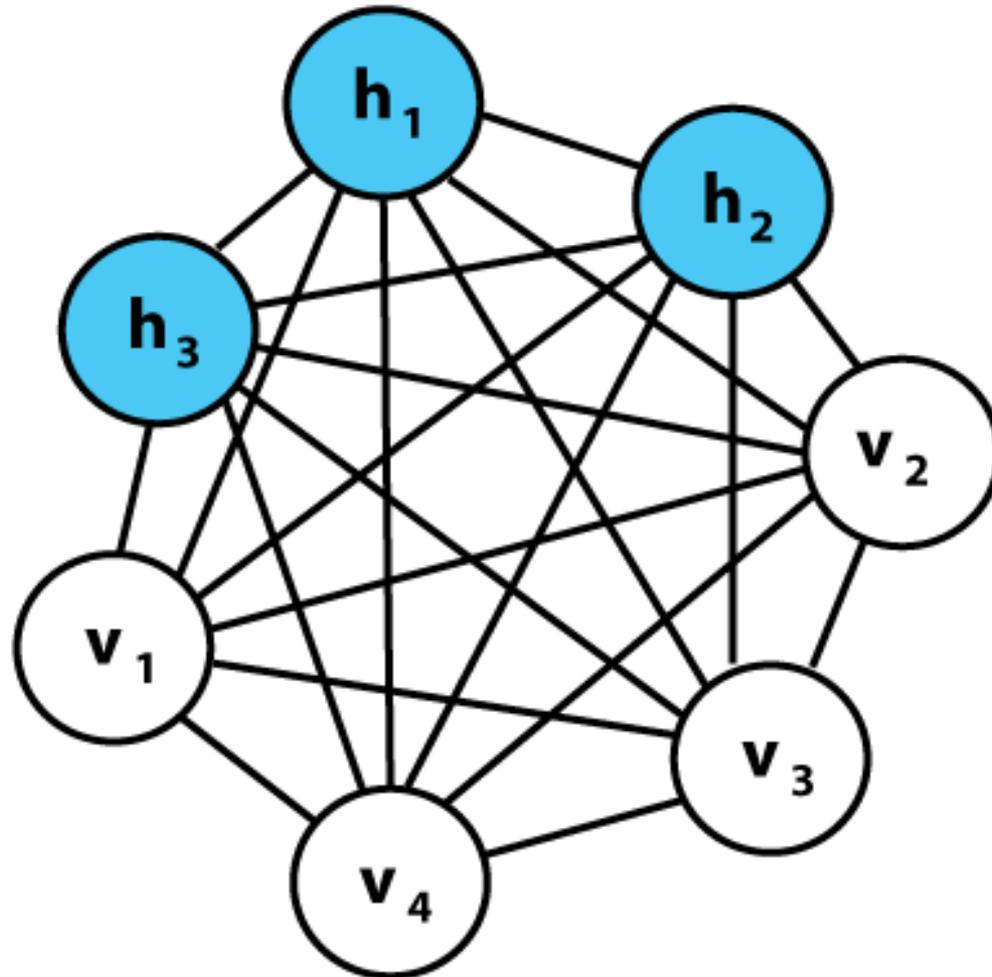
# Машина Больцмана

## *Boltzmann Machine, BM*

Вероятностная рекуррентная нейронная сеть, является стохастическим генеративным вариантом сети Хопфилда. Архитектура включает входные и скрытые нейроны.

# Машина Больцмана

*Джеффри Хинтон, Терри Сейновски, 1985*



# Машина Больцмана

## Обучение сети

Нейроны

$$s_i = \{0, 1\}$$

Энергия сети

$$E = - \sum_{i < j} w_{ij} s_i s_j - \sum_i \theta_i s_i$$

$$w_{ii} = 0, \quad w_{ij} = w_{ji}$$

Веса синапсов

Отжиг

$$P_k = \frac{1}{1 + e^{-E_k / t}}$$

# Цепь Маркова

## *Markov Chain, MC*

Последовательность случайных событий с конечным или счётным числом исходов, характеризующаяся тем, что при фиксированном настоящем будущее независимо от прошлого.

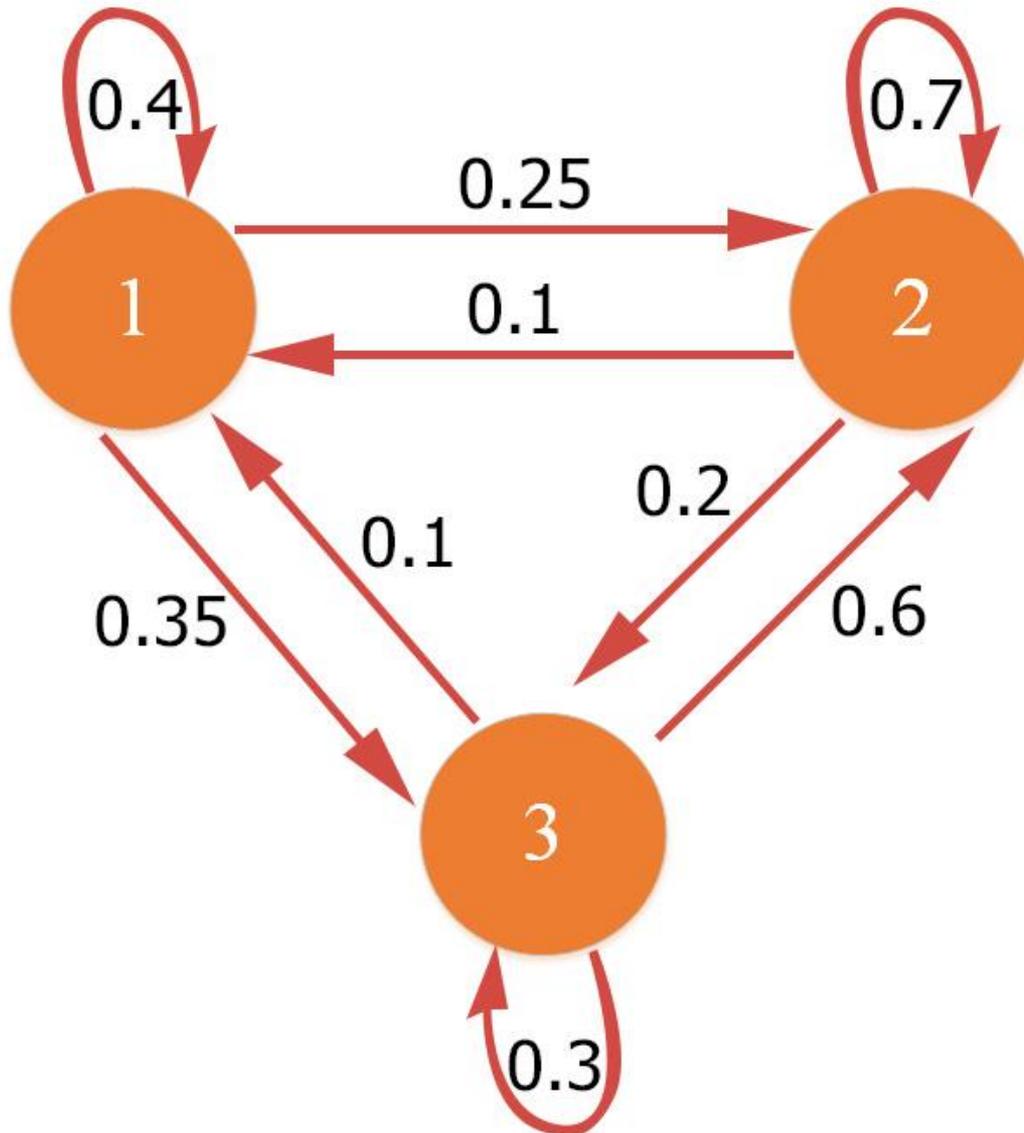
# Цепь Маркова

Процесс из состояния  $i$  переходит в состояние  $j$  с вероятностью  $p_{ij}$ .

Матрица переходов

$$P = \left\| p_{ij} \right\|, \quad p_{ij} \geq 0, \quad \forall i \sum_j p_{ij} = 1$$

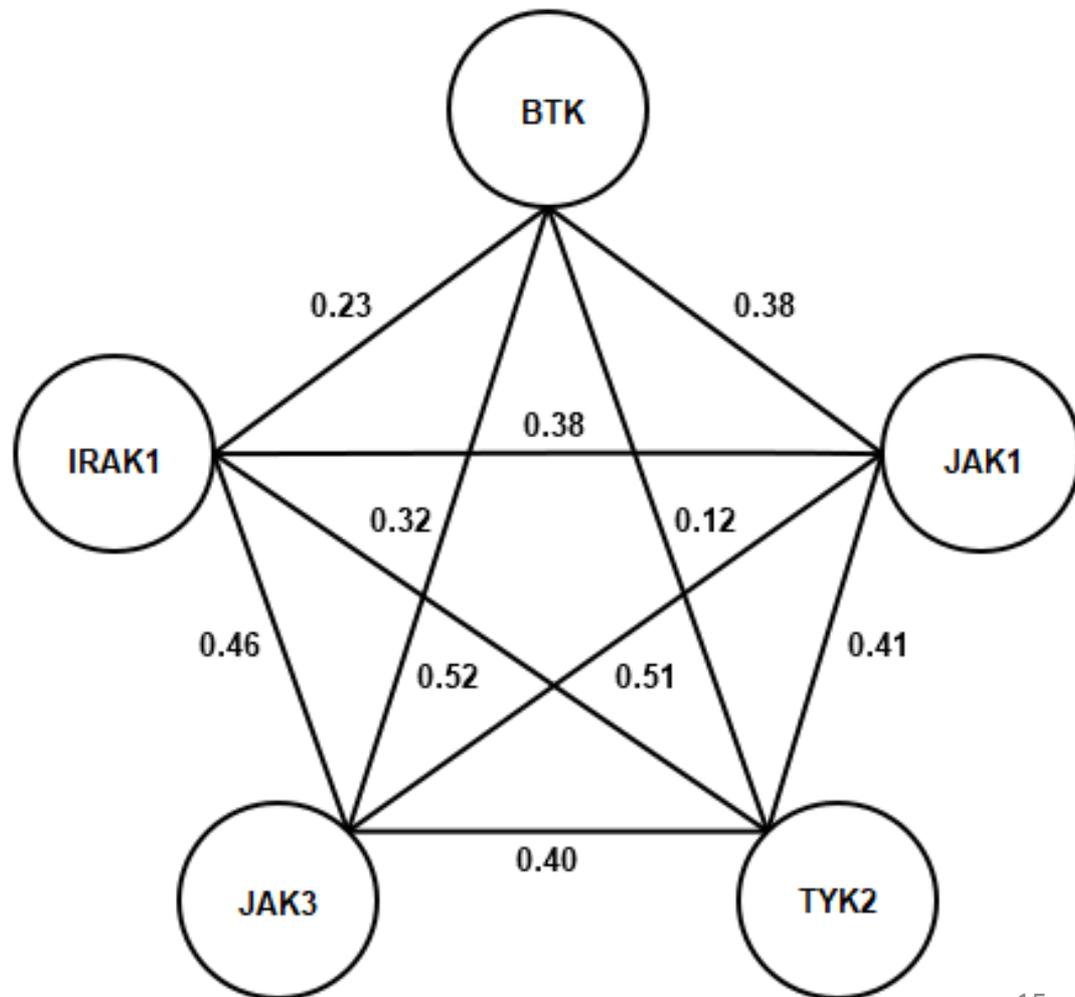
# Цепь Маркова



# Полносвязная корреляционная сеть

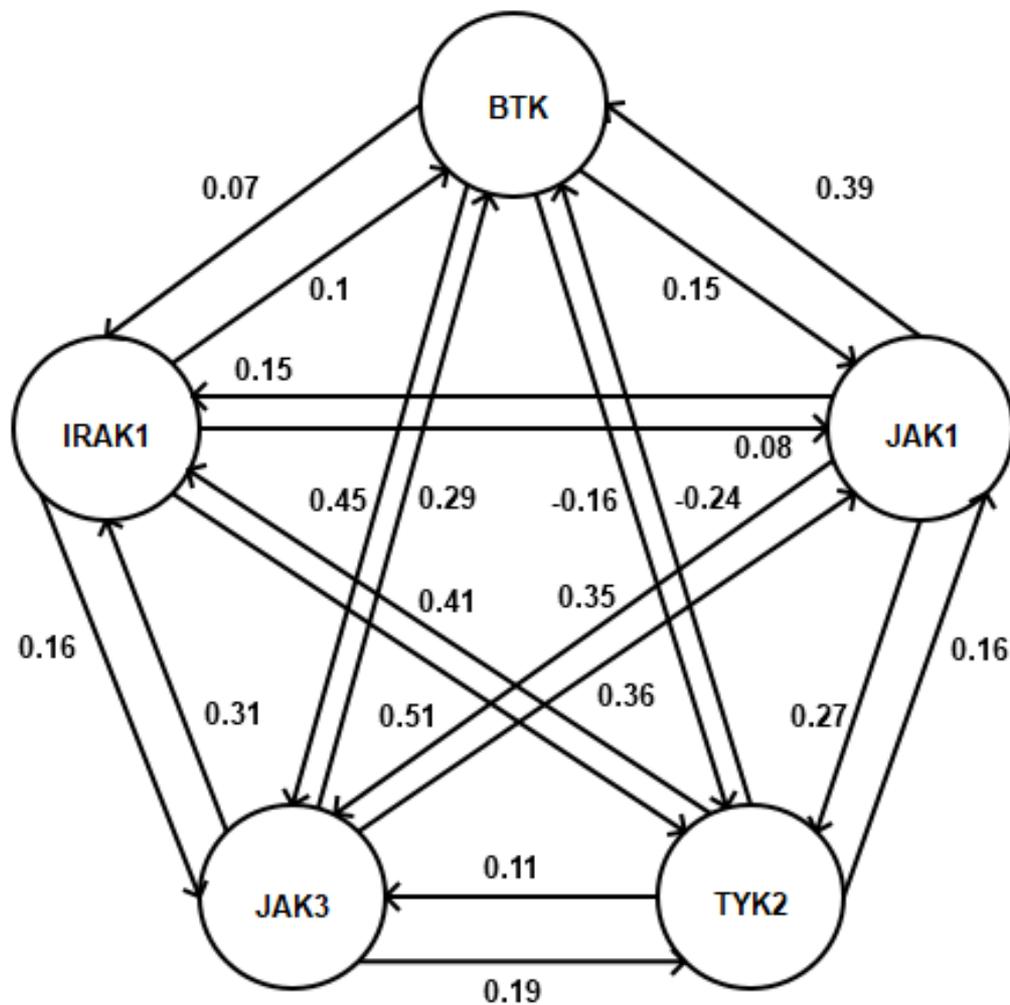
## *Fully connected correlation neural network*

$$E = - \sum_{i > j} R_{ij} x_i x_j$$



# Полносвязная рекуррентная сеть

## *Fully connected recurrent neural network*



**To be continued ...**

